



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 195 45 914 C 1

⑤① Int. Cl. 8:
C 23 C 14/24

②① Aktenzeichen: 195 45 914.8-45
②② Anmeldetag: 8. 12. 95
④③ Offenlegungstag: —
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 7. 11. 96

DE 195 45 914 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Sintec Keramik GmbH, 87642 Halblech, DE

⑦④ Vertreter:
Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

⑦⑦ Erfinder:
Goetz, Ulrich, 87642 Halblech, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
NICHTS ERMITTELT

⑤④ Verfahren und Verdampferschiffchen zum Verdampfen von Metall

⑤⑦ Die Erfindung betrifft Verfahren zum Verdampfen von Metall mittels eines widerstandsbeheizten Verdampferschiffchens, sowie ein solches widerstandsbeheiztes Verdampferschiffchen, mittels welchem diese Verfahren durchführbar sind. Gemäß den Verfahren sowie dem Verdampferschiffchen wird in der Randzone, also entlang der Längskante des Verdampferschiffchens, eine derart verringerte Temperatur erzeugt, daß entlang dieser Längskante nur eine sehr geringe Benetzungsneigung vorhanden ist, und so verhindert wird, daß, ggf. ohne eine Kavität in der Verdampfungsfläche des Verdampferschiffchens vorsehen zu müssen, eine solche Lokalisierung der Schmelze erfolgt, daß diese nicht über die Längskanten des Verdampferschiffchens überlaufen kann und deshalb eine optimale Benetzung sowie eine stets zielgerichtete Verdampfung des Metalls nach oben auf die zu bedampfende Fläche erfolgt.

DE 195 45 914 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verdampfen von Metall nach den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 3 sowie ein keramisches, widerstandsbeheiztes Verdampferschiffchen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 4

Aus dem Stand der Technik sind allgemein Verfahren zum Verdampfen von Metall sowie entsprechende Verdampferschiffchen bekannt, welche aus einem keramischen, elektrisch leitfähigen Werkstoff hergestellt sind, wozu i. d. R. Titandiborid als leitfähige Phase und Bornitrid bzw. Bornitrid plus Aluminiumnitrid als isolierende Phase verwendet werden.

Derartige Verdampferschiffchen sind nach dem Stand der Technik als längliche Stäbe mit einem im wesentlichen rechteckigen, oder quadratischen Querschnitt hergestellt. Typische Querschnitte sind 10×20 mm, 10×30 mm oder 12×19 mm.

Typische Längen sind z. B. 150 bis 250 mm. Die Enden der Verdampferschiffchen in Längsrichtung gesehen sind an eine Stromquelle angeschlossen, so daß die Verdampferschiffchen in Längsrichtung homogen von einem bestimmten Stromfluß pro Querschnittsflächeneinheit durchströmt werden und das gesamte Verdampferschiffchen somit als Heizwiderstand reagiert und somit auch relativ homogen aufgeheizt wird. Üblicherweise erfolgt die Kontaktierung der Verdampferschiffchen stirnflächenseitig durch Anpressen von Einspannbacken gegen die Stirnflächen des jeweiligen Verdampferschiffchens. Die Einspannbacken selbst sind in der Regel mit einem wassergekühlten elektrischen Leiter verbunden, der vorzugsweise aus Kupfer hergestellt ist. Ein typischer spezifischer Widerstand des Keramikmaterials des Verdampferschiffchens kann beispielsweise $800 \mu\Omega\text{cm}$ betragen.

Gemäß den herkömmlichen Verdampfungsverfahren wird das zu verdampfende Metall, i. d. R. Aluminium bzw. dessen Legierungen, z. B. in Form eines Drahtes auf das Verdampferschiffchen geführt, wodurch der Schmelzvorgang einsetzt und das Verdampferschiffchen von der Schmelze benetzt wird. Da die Aufheizung aufgrund des im wesentlichen homogenen Widerstands ebenfalls über den Querschnitt des Verdampferschiffchens relativ gleichmäßig erfolgt, erfolgt auch eine in der Breite des Verdampferschiffchens gesehen relativ gleichmäßige Benetzung mit Aluminiumschmelze. Dies führt andererseits auch dazu, daß das Aluminium über die seitlichen Längskanten des Verdampferschiffchens aufgrund der guten Benetzung läuft und somit nicht mehr nach oben gerichtet abgedampft wird, sondern von den seitlichen Flächen in horizontaler Richtung verdampft wird. Übliche Verdampfer sind jedoch so aufgebaut, daß die zu bedampfende Fläche oberhalb der Verdampferschiffchen vorbeigeführt wird, z. B. eine zu bedampfende Kondensatorfolie zum Herstellen von Wikkeldensatoren. Durch das ungewollte, seitliche Abdampfen gelangt das so verdampfte Aluminium jedoch gar nicht oder zumindest nicht vollständig auf die zu bedampfende Kondensatorfolie, sondern schlägt sich an einer anderen Stelle nieder, z. B. irgendwo an der Wand des unter Vakuum stehenden Raumes, in welchem das Verdampferschiffchen und die zu bedampfende Fläche angeordnet sind. Damit ergeben sich große Wartungsprobleme bzgl. des Verdampfers, weil sich nach und nach der Raum mit Aluminiumablagerung zusetzt, welche nur sehr schwierig zu entfernen sind.

Um ein Überlaufen der Aluminiumschmelze über die

seitlichen Kanten zu verhindern, hat man im Stand der Technik eine längs des Verdampferschiffchens verlaufende Mulde vorgesehen, die z. B. durch Ausfräsen hergestellt wurde. Damit konnte sich die Aluminiumschmelze innerhalb der Mulde ähnlich einem länglichen Schmelztiegel verteilen. Jedoch hat sich herausgestellt, daß die Schmelze auch über die Ränder der Mulde in Querrichtung lief und schließlich über die seitlichen Kanten herunterlief und dort verdampfte. Umgekehrt war es auch nicht sinnvoll, die in Längsrichtung verlaufende Ausnehmung in dem Verdampferschiffchen beliebig tief zu gestalten, weil sonst der Schmelzenquerschnitt zu groß würde und damit die Prozeßbedingungen in ungewünschter Weise verändert würden, im einzelnen zu viel Strom durch die Schmelze selbst geleitet würde und damit der Keramikwerkstoff, welcher den Heizwiderstand darstellt, bypaßartig umgangen würde. Abgesehen davon brachte das Ausfräsen der Kavität oder Mulde einen erheblichen Herstellungsaufwand mit sich.

Wünschenswert ist neben dem Verhindern eines Überlaufens der Schmelze über die seitlichen Längskanten auch, daß das Verdampferschiffchen relativ geringe Strahlungsverluste aufweist. Dabei muß jedoch gewährleistet bleiben, daß das Verdampferschiffchen eine solche Form beibehält, daß es herstellungstechnisch mit geringem Aufwand herzustellen ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Verfahren sowie eine Vorrichtung zu schaffen, wodurch eine gleichmäßige Benetzung des Verdampferschiffchens in Längsrichtung erzielt wird und zugleich in Querrichtung keine Schmelze über die Längskanten des Verdampferschiffchens läuft.

Dies wird gemäß der Erfindung durch die Verfahrensschritte im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1 und 3 sowie die Vorrichtungsmerkmale im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 4 erreicht.

Eine wesentliche Erkenntnis für die Erfindung ist dabei, daß die Aluminiumschmelze in Abhängigkeit von deren Temperatur eine unterschiedliche Benetzungsneigung zeigt, oder in anderen Worten kühleren Flächen weniger leicht mit Aluminiumschmelze benetzt werden als wärmere Flächen. Wenn der spezifische Widerstand des Verdampferschiffchens über den Querschnitt desselben homogen ist, findet im Prinzip eine gleichstarke Erhitzung über den Querschnitt statt. Wird jedoch im Randbereich Wärme abgeleitet, so ist dieser Randbereich um die abgeleitete Wärme kühler. Unterhalb einer gewissen Temperatur, unter die der Rand z. B. abgekühlt werden kann, findet gar keine Benetzung mehr statt. Dadurch wird verhindert, daß Schmelze über die Ränder des Verdampferschiffchens läuft, und andererseits wird dafür gesorgt, daß sich die Schmelze in Längsrichtung des Verdampferschiffchens ausbreitet. Dadurch, daß also Wärme von dem Randbereich der Verdampferschiffchen gezielt abgeleitet wird, kann eine optimale Verteilung der Schmelze auf dem Verdampferschiffchen gezielt hervorgerufen werden, und es können ein seitliches Abdampfen und damit eine höhere Verunreinigungsneigung des gesamten Verdampfers wie auch Energie- und Materialverluste aufgrund ungezielten Abdampfens unterbunden werden.

Vorteilhaft kann das selektive Ableiten der Wärme im Bereich der Längskanten des Verdampferschiffchens durch Abstrahlen erreicht werden. Als eine weitere Alternative kann das Ableiten der Wärme durch Wärmeleitung erfolgen, z. B. durch Anschließen eines wärmeleitfähigen Materials an die Randzone des Verdampfer-

schiffchens, um so Wärme aus dieser Randzone abzuleiten, z. B. in das Verdampfergehäuse.

Ein alternatives Verfahren ein und des gleichen Erfindungsgedankens ist in Anspruch 3 beschrieben, wonach die Wärme zwar nicht gezielt aus der Randzone abgeleitet wird, die Randzone aber gar nicht erst auf eine so hohe Temperatur aufgeheizt wird, daß deren Benetzung zu befürchten ist. Erzielt werden kann eine derartige unterschiedliche Aufheizung z. B. dadurch, daß für die Randzone des Verdampferschiffchens ein Material gewählt wird, welches einen höheren spezifischen Widerstand im Vergleich mit demjenigen Material aufweist, welches sich im Mittelbereich des Verdampferschiffchens befindet. Dadurch wird eine höhere Aufheizung im Mittelbereich zu den seitlichen Längskanten erreicht, und somit die gleiche Wirkung erzielt, als wenn Wärme aus der Randzone abgeleitet würde, wie dies nach dem erstgenannten, alternativen Verfahren der Fall ist.

Um ein für die Durchführung des erstgenannten Verfahrens, im nachfolgenden kurz Abstrahlverfahren genannt, optimales Querschnittsprofil zu erhalten, kann dieses im wesentlichen T-förmig ausgebildet sein, wobei sozusagen der "Steg" des "T"-förmigen Profils relativ dick und kurz ausgebildet ist, während die oberen "Schenkel" des "T"-förmigen Profils relativ dünnwandig ausgebildet sein können und somit im Randbereich eine Art Kühlrippe darstellen.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann das Querschnittsprofil im wesentlichen die Form eines flachen Dreiecks aufweisen, wobei das Verhältnis von Breite zu Höhe wenigstens 2 : 1 beträgt. Ein besonders vorteilhaftes Verhältnis von Breite zu Höhe ist z. B. 30 mm : 10 mm. Durch ein derartig flaches Dreieck wird erreicht, daß einerseits eine relativ breite Verdampfungsfläche mit einer Breite von 30 mm bereitgestellt werden kann, und überdies das Verhältnis von Oberfläche des Verdampferschiffchens im Verhältnis zu dem davon umschlossenen Volumen in Querrichtung von der Mitte zum Rand hin zunimmt. Abgesehen davon ist der Dreiecksquerschnitt durch einfache Sägeschnitte relativ leicht aus einem Blockmaterial herstellbar. Es besteht aufgrund der mit 30 mm relativ breiten Verdampfungsfläche die Möglichkeit, auf eine Kavität zum Lokalisieren der Schmelze auch vollständig zu verzichten. Schließlich ist die Flächensumme der beiden schräg nach unten geneigten "Strahlungs-Verlustflächen" des flachen Dreieckprofils im Vergleich zu der Flächensumme der drei "Strahlungs-Verlustflächen" bei herkömmlichen Rechteckprofilen relativ klein im Vergleich zu der jeweiligen Verdampfungsfläche des Dreieckprofils bzw. Rechteckprofils.

Wie bereits angedeutet, weist das Verdampferschiffchen gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung eine vollständig ebene, obere Verdampfungsfläche auf. In anderen Worten, es ist keine Ausnahme auf der Verdampfungsfläche vorgesehen, in welcher sich die Schmelze sammeln soll. Das Lokalisieren der Schmelze erfolgt damit einzig und allein durch die unterschiedliche Benetzungsneigung bei unterschiedlicher Temperatur, oder einfach gesagt dadurch, daß die Randzone kälter ist und damit keine Benetzungsneigung aufweist. Besonders vorteilhaft läßt sich diese Ausführungsform mit dem zuvor erwähnten, flachen Dreieck verwirklichen, bei welchem das Verhältnis von Breite zu Höhe z. B. 30 mm : 10 mm beträgt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnung erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung des gesamten Verdampfers;

Fig. 2 eine Ausführungsform einer Einspannung eines Verdampferschiffchens für das in Fig. 1 dargestellte Ausführungsbeispiel;

Fig. 3—7 perspektivische Darstellungen von Ausführungsformen des Verdampferschiffchens.

Der in Fig. 1 dargestellte Verdampfer ist mit einem Gehäuse 1 versehen, welches mittels eines Kanals 2 an eine Unterdruckquelle angeschlossen ist, so daß im Inneren des Gehäuses 1 ein Unterdruck herrscht. Der Verdampfer kann mittels Standfüßen 3 auf dem Boden 4 aufstehen. Ein Verdampferschiffchen 5, welches gemäß diesem Ausführungsbeispiel aus Titandiborid ausgebildet ist, sowie mit einer isolierenden Phase aus Bornitrid bzw. Bornitrid plus Aluminiumnitrid ausgebildet ist, ist zwischen Einspannbacken 6 so eingespannt, daß ein elektrisch leitender Kontakt zu den wassergekühlten, elektrischen Leitern 7 jeweils im Endbereich in Längsrichtung gesehen des Verdampferschiffchens hergestellt wird.

Mittels einer Zuführdüse 8 wird Aluminiumdraht 9 auf das Verdampferschiffchen 5 geführt, wo der Aluminiumdraht schmilzt und schließlich in Richtung der Pfeile 10 nach oben verdampft, wo die zu bedampfende Folie 11 entlanggeführt wird.

Die Folie 11 ist dabei elektrostatisch derart aufgeladen, daß die von dem Verdampferschiffchen 5 abgedampften Aluminiummoleküle sich auf der Folie 11 niederschlagen, die z. B. eine Kondensatorfolie zum Herstellen eines Wickelkondensators sein kann. Die Folie 11 kann von einer Vorratsrolle 12 abgespult werden, und von einer weiteren Vorratsrolle 13 kann die fertigbedampfte Aluminiumfolie aufgenommen werden.

Fig. 2 zeigt die Einspannbacken 6 im Detail, welche das Verdampferschiffchen 5 fest umschließen. In dem Verdampferschiffchen ist eine Kavität 14 ausgebildet, in welche mittels der Drahtzuführdüse 8 Aluminiumdraht 9 eingespeist wird. Die Einspannbacken sind gegen die Stirnfläche des Verdampferschiffchens an dessen Enden in Längsrichtung fest angepreßt, so daß die gesamte Stirnfläche des Verdampferschiffchens flächendeckend kontaktiert ist. Die Einspannbacken 6 sind elektrisch leitend mit dem elektrischen Leiter 7 verbunden, welcher gemäß diesem Ausführungsbeispiel aus Kupfer ausgebildet ist. Die Wasserkühlung des Leiters 7 erfolgt über Kanäle 15, durch welche Kühlwasser strömt.

Fig. 3 zeigt eine perspektivische Darstellung einer ersten Ausführungsform des Verdampferschiffchens, wie es zum Durchführen des in Anspruch 3 beanspruchten Verfahrens verwendet wird. Im Mittelbereich 16 ist der übliche, keramische Werkstoff Titandiborid vorgesehen, während in den Randzonen 17 ein anderer Werkstoff vorgesehen ist, welcher einen höheren spezifischen Widerstand aufweist und sich somit weniger stark als die Mittelzone 16 aufheizt. Zusätzlich ist gemäß diesem Ausführungsbeispiel eine Kavität 14 vorgesehen, in welche der Aluminiumdraht eingespeist wird. Der höhere spezifische Widerstand hat zur Folge, daß in der Randzone 17 eine geringere Stromdichte herrscht und sich diese Randzone 17 somit geringer als die Mittelzone 16 aufheizt, weil bekanntermaßen der Strom im Falle des Heizwiderstands den Weg des geringsten Widerstands nimmt. Da die Heizleistung mit der Stromstärke im Quadrat steigt, aber nur linear mit zunehmendem Widerstand, ergibt sich in der Randzone 17 eine geringere Heizleistung aufgrund des geringeren Stromflusses. Da das Aluminium in kälteren Randzonen 17 nicht zur Be-

netzung neigt, wird es innerhalb der Kavität 14 lokalisiert und läuft somit nicht über die Randzone 17 hinaus, sondern kann zielgerichtet von einer Verdampfungsfläche 18 nach oben abgedampft werden. Im Extremfall kann für die Randzone 17 ein Isolator verwendet werden, welcher überhaupt keine Heizleistung erzeugt und daher nur etwas durch Wärmeleitung von der Mittelzone 16 her aufgeheizt wird.

Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel ähnlich dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel, wobei auf die Kavität 14 verzichtet wurde und die Lokalisierung der Aluminiumschmelze ausschließlich dadurch erreicht wird, daß die Randzone 17 deutlich kühler als die Mittelzone 16 ist. In Längsrichtung des Verdampferschiffchens 5 wird eine Lokalisierung der Aluminiumschmelze dadurch erreicht, daß das Verdampferschiffchen 5 in die Einspannbacken 6 eingespannt ist und somit mit dem gekühlten, elektrischen Leiter 7 wärmeleitend verbunden ist, so daß die Endbereiche des Verdampferschiffchens 5 automatisch kühler sind und somit eine geringere Benetzungsneigung aufweisen, wodurch die Aluminiumschmelze in Längsrichtung des Verdampferschiffchens 5 lokalisiert wird.

In den Fig. 5—7 sind weitere Ausführungsbeispiele dargestellt, bei welchen das gesamte Verdampferschiffchen aus einem homogenen Material hergestellt ist, der Querschnitt aber so gestaltet ist, daß in den Randzonen 17 eine stärkere Abstrahlung als in der Mittelzone 16 stattfindet. Im einzelnen zeigt das in Fig. 5 dargestellte Verdampferschiffchen den Querschnitt eines flachen Dreiecks, wobei der Maßstab 1 : 1 gewählt wurde. Der Querschnitt, d. h. die Verdampfungsfläche 18, ist 30 mm breit, während die Höhe des Dreiecks 10 mm beträgt oder in anderen Worten die Scheitellkante des Dreiecksquerschnitts in einem Abstand von 10 mm parallel zu der Verdampfungsfläche 18 verläuft. Bei einem derartigen Querschnitt erfolgt die Einspannung in die Einspannbacken 6 derart, daß der Querschnitt über seine gesamte Fläche kontaktiert ist, oder in anderen Worten ausgedrückt, die Einspannbacken 6 fest gegen die Stirnflächen 19 des Verdampferschiffchens 5 angepreßt sind. Selbstverständlich kann das Verdampferschiffchen nach Fig. 5 auch mit einer Kavität 14 versehen sein. In dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel wurde jedoch auf die Kavität 14 vollständig verzichtet und die Lokalisierung der Aluminiumschmelze erfolgt ausschließlich durch die unterschiedlichen Temperaturbereiche an den Enden des Verdampferschiffchens aufgrund der durch die Einspannbacken 6 hervorgerufenen Wärmeableitung, und gemäß der bevorzugten Ausführungsform entlang der Längskante des Verdampferschiffchens durch die querschnittsbedingte, stärkere Abstrahlung in der Randzone 17.

Eine entsprechende Gestaltung des Querschnitts ist in den Fig. 6 und 7 dargestellt, wobei der Querschnitt "T"-förmig gestaltet ist, wobei die Verdampfungsfläche 18 bei dem Ausführungsbeispiel in Fig. 6 mit einer Kavität 14 versehen ist, während bei der Ausführungsform nach Fig. 7 ähnlich der in Fig. 5 dargestellten Ausführungsform die Lokalisierung der Schmelze allein durch die stärkere Abstrahlung von Wärme in den Randzonen 17 erreicht wird. Die Darstellung nach den Fig. 6 und 7 ist ebenfalls in einem Maßstab 1 : 1, wobei die Länge der Verdampferschiffchen 5 wie auch bei dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel 250 mm betragen kann. Bei dem in Fig. 6 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Breite des "Stegs" des "T"-förmigen Profils 19 mm, während die Gesamtbreite des Profils 28 mm beträgt,

sowie dessen Höhe 11 mm. Die Dicke der "Schenkel" des "T"-förmigen Profils beträgt in diesem Ausführungsbeispiel 2 mm. Entsprechend zeigt Fig. 7 ein solches Querschnittsprofil des Verdampferschiffchens, bei welchem der "Steg" des "T"-förmigen Querschnittsprofils eine Breite von 15 mm aufweist, während die Gesamtbreite des Querschnittsprofils 47 mm beträgt. Die "Schenkel" des "T"-förmigen Querschnittsprofils weisen bei diesem Ausführungsbeispiel eine Dicke von 1,5 mm auf. Die Gesamthöhe des Querschnittsprofils beträgt 12 mm.

Zu dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel bleibt noch nachzutragen, daß neben der Lokalisierung der Schmelze allein aufgrund einer höheren Wärmeabstrahlung in der Randzone 17 auch noch insgesamt eine Energieeinsparung gegenüber Rechteckquerschnitten erreicht wird, weil die schräg nach unten gerichteten Abstrahlflächen des dreieckförmigen Querschnitts, welche für die Abstrahlungsverluste hauptsächlich verantwortlich sind, im Vergleich zum sich aufheizenden Verdampferschiffchen-Volumen des dreieckförmigen Querschnitts kleiner als die Gesamtfläche der beiden seitlichen und der einen nach unten gerichteten Abstrahlfläche bei rechteckförmigen Querschnitten ist, welche bei derartigen Querschnitten für den Großteil der Strahlungsverluste verantwortlich sind.

Nachfolgend werden einige Beispiele und Vergleichsbeispiele erläutert:

Beispiel 1 und Vergleichsbeispiel 1

Es wurde ein Rechteckprofil-Verdampferschiffchen mit der Abmessung $12 \times 19 \times 250$ mm (Standardmaß) mit einem geometrisch neu gestalteten Verdampfer entsprechend Fig. 6 mit den Abmessungen 11×19 im Kernbereich und zusätzlich Überständen von $2 \times 4,5$ mm bei gleicher Länge verglichen. Bei dieser Gestaltung wurde berücksichtigt, daß der Gesamtquerschnitt der beiden Verdampferschiffchen der gleiche war.

Beim Vergleich der beiden Verdampferschiffchen konnte bereits beim Erhitzen klar erkannt werden, daß die verdünnten Seitenränder wegen der höheren Abstrahlung eine deutlich niedrigere Temperatur im Bereich der verdünnten Seiten aufwiesen.

Nachdem das Aluminium drahtförmig einerseits auf das herkömmliche, mit einer Kavität versehene Rechteckprofil, andererseits auf das mit gleicher Temperatur betriebene Verdampferschiffchen nach Fig. 6 in den Mittelbereich zugeführt wurde, zeigte sich innerhalb kurzer Zeit, daß die Ausbreitung des Aluminiumbades im Falle des Verdampferschiffchens mit herkömmlichem Rechteckquerschnitt in Querrichtung zum Überlaufen des Aluminiums an den Seiten führte und zur seitlichen Verdampfung des Aluminiums. Hingegen wurde im Falle des neu gestalteten Verdampferschiffchens nach Fig. 6 dieser Effekt nicht festgestellt, vielmehr erfolgte eine gerichtete Benetzung in axialer Richtung bei gleichzeitig gerichteter Abdampfung in vertikaler Richtung.

Vergleichsbeispiel 2

Nachdem im Beispiel 1 selbstverständlich die aktive Verdampfungsfläche unterschiedliche Breiten-Längen-Verhältnisse aufwies (im Fall des Standardverdampfers mit Rechteckquerschnitt $19 \times 12 \times 250$ mm, im Fall des in Fig. 6 dargestellten, konstruktiv neu gestalteten Verdampfers $28 \times 11 \times 250$ mm), liegt der Verdacht nahe,

daß aufgrund der höheren Breite des Verdampferschiffchens ein Überlaufen des Aluminiumbades in seitliche Richtung unterbunden wurde. Aus diesem Grunde wurde in einem weiteren Versuch ein Verdampferschiffchen mit Rechteckquerschnitt gleicher Breite und gleicher Querschnittsfläche mit den Abmessungen $28 \times 8,1$ mm hergestellt und wiederum mit dem konstruktiv neu gestalteten Verdampferschiffchen nach Fig. 6 verglichen. Dabei zeigte sich wie im ersten Fall, daß das Verdampferschiffchen mit Rechteckprofil eine homogene Temperaturverteilung über den Querschnitt zeigte. Nach der Benetzung durch Aluminium war ebenfalls zunächst zu beobachten, daß das Aluminiumbad sich sehr schnell auch in seitlicher Richtung ausbreitete und über die Ränder überlief, so daß auch bei dem breiteren Verdampfer eine, wenn auch etwas geringere verglichen mit dem ersten Vergleichsbeispiel, so doch merklich vorhandene seitliche Verdampfung des Aluminiums zu beobachten war.

Beispiel 2

Um den Effekt der Abstrahlung noch deutlicher zu charakterisieren, wurde ein Verdampferschiffchen mit den Abmessungen 12×15 mm im Kernbereich ("Steg") seitlichen Überständen ("Schenkel") von $1,5 \times 16$ mm je Seite und einer Länge von 250 mm hergestellt, wie es in Fig. 7 dargestellt ist. Beim Betreiben dieses Verdampfers unter gleichen Bedingungen wie im Beispiel 1 wurde beobachtet, daß durch die axial zentrale Heizung eine ideale Ausbreitung des Aluminiumbades in axialer Richtung zu beobachten war, und ein Überlaufen zu den Rändern total unterbunden wurde, wobei sogar nicht benetzte Zonen entlang der Ränder entstanden sind. Das Verhältnis des Aluminiumbades Breite zu Länge betrug 1 : 9, während das Verhältnis bei dem in Fig. 6 dargestellten Verdampferschiffchen 1 : 11 betrug. Im Gegensatz dazu betrug das Benetzungsverhältnis nach den Vergleichsbeispielen 1 bzw. 2 mit dem 12×19 Rechteckquerschnitt nur 1 : 4,5 mm und mit dem $28 \times 8,1$ nur 1 : 5 mm, wodurch sich abgesehen von dem Überlaufen über die Längskanten der Verdampferschiffchen nach den Vergleichsbeispielen auch eine wesentlich ungünstigere Flächenbenetzung der Verdampfungsfläche und damit eine verringerte Verdampfungsleistung ergibt.

Beispiel 3 und Vergleichsbeispiel 3

Neben den im Beispiel 1 und 2 beschriebenen prinzipiellen Geometrien wurde auch ein Verdampferschiffchen mit V-förmigem Querschnitt untersucht. Die Breite des Verdampferschiffchens betrug dabei 30 mm, die maximale Dicke 10 mm und die Länge 150 mm. Ein derartiges Verdampferschiffchen ist in Fig. 5 dargestellt. Auch bei diesem Verdampferschiffchen konnte der Effekt der erhöhten Verlustleistung durch Strahlungsverluste an den Rändern eine Lokalisierung des Aluminiumbades erwirken. Das Breiten-Längen-Verhältnis des Aluminiumbades betrug 1 : 4,5 im Gegensatz zu 1 : 2,4 bei einem Standardverdampfer mit rechteckigem Querschnitt von 10×30 mm bei gleicher Länge von 150 mm. Insgesamt war das Verdampferschiffchen nach Fig. 5 hinsichtlich einer verringerten Gesamt-Strahlungsverlustleistung dem Referenzprofil mit einem 10×30 Rechteckquerschnitt deutlich überlegen, so daß die Verwendung des Dreiecksprofils nach Fig. 5 zu einer etwa 25%-igen Energieeinsparung allein aufgrund verringerter Strahlungsverluste führte. Hinzu kommen die Ener-

gieeinsparungen aufgrund des geringeren, aufzuheizenden Verdampferschiffchen-Volumens.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verdampfen von Metall, insbesondere von Aluminium bzw. von dessen Legierungen, auf einem keramischen, homogenen, widerstandsbeheizten Verdampferschiffchen mit einer im Vergleich zur Längsausdehnung geringen Querausdehnung, mit den Verfahrensschritten Aufheizen des Verdampferschiffchens auf die Verdampfungsstemperatur des Metalls durch Hindurchführen eines homogen über den Querschnitt des Verdampferschiffchens verteilten, elektrischen Stromflusses, und Zuführen von Metall auf das Verdampferschiffchen, um das Metall zunächst zu schmelzen und dann zu verdampfen, gekennzeichnet durch den Verfahrensschritt des selektiven Ableitens von Wärme von Längskanten des Verdampferschiffchens, derart, daß in dessen Mitte eine Zone höherer Temperatur als an dessen Rändern ausgebildet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das selektive Ableiten von Wärme durch Abstrahlen und/oder durch Wärmeleitung erfolgt.
3. Verfahren zum Verdampfen von Metall, insbesondere von Aluminium bzw. von dessen Legierungen, auf keramischen, widerstandsbeheizten Verdampferschiffchen mit einer im Vergleich zur Längsausdehnung geringen Querausdehnung, wobei Metall auf das Verdampferschiffchen zugeführt wird, um das Metall zunächst zu schmelzen und dann zu verdampfen, gekennzeichnet durch den Verfahrensschritt des selektiven Aufheizens des Verdampferschiffchens durch Hindurchleiten von elektrischem Strom mit über den Querschnitt gesehen inhomogener Stromdichte, derart, daß in der Mitte des Verdampferschiffchens eine Zone höherer Temperatur als an dessen Rändern ausgebildet wird.
4. Keramisches, widerstandsbeheiztes Verdampferschiffchen mit einer im Vergleich zur Längsausdehnung geringen Querausdehnung, dadurch gekennzeichnet, daß das Querschnittsprofil des Verdampferschiffchens (5) eine derartige Form aufweist, daß das Verhältnis von Oberfläche des Verdampferschiffchens (5) im Verhältnis zu dem davon umschlossenen Volumen in Querrichtung von der Mitte zum Rand hin zunimmt.
5. Verdampferschiffchen nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Querschnittsprofil im wesentlichen T-förmig ausgebildet ist.
6. Verdampferschiffchen nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Querschnittsprofil im wesentlichen die Form eines flachen Dreiecks aufweist, wobei das Verhältnis von Breite zu Höhe wenigstens 2 : 1 beträgt.
7. Verdampferschiffchen nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis von Breite zu Höhe 30 mm zu 10 mm beträgt.
8. Verdampferschiffchen nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Verdampferschiffchen (5) eine vollständig ebene, obere Verdampfungsfläche (18) aufweist.

- Leerseite -

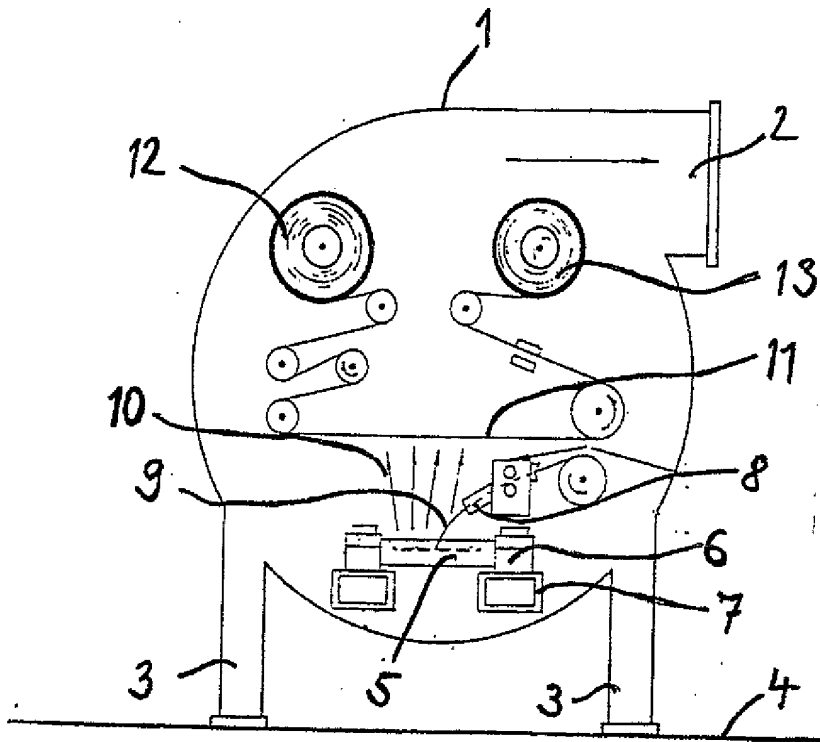


Fig.1 *

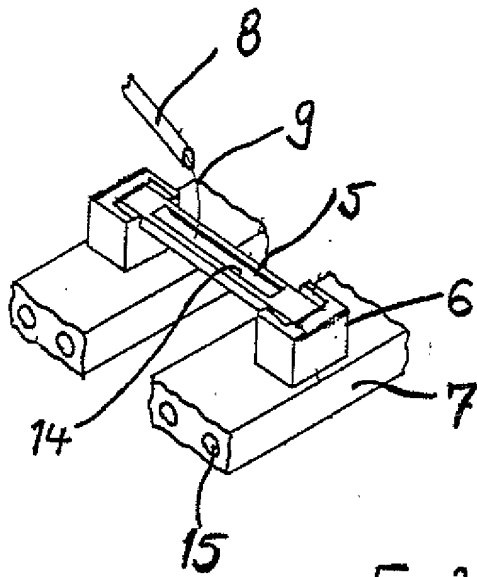


Fig. 2

